

2. DASAR TEORI

2.1 Perawatan

Perawatan merupakan kegiatan pemeliharaan sesuai dengan ketetapan prosedur dengan melihat probabilitas suatu komponen atau sistem untuk mengalami kerusakan, kemudian akan dilakukan perbaikan atau penggantian terhadap kerusakan tersebut yang akan dikerjakan dalam periode waktu tertentu (Ebeling, 1997). Perawatan memiliki beberapa tujuan antara lain :

- Memperpanjang umur dari mesin dan komponen.
- Mengurangi biaya *maintenance* dan kerugian lainnya.
- Menjamin persiapan secara teknis sampai ke mesin atau peralatan cadangan.
- Menjamin ketersediaan peralatan untuk produksi dan kelangsungan proses produksi.

Perawatan secara umum terbagi menjadi dua antara lain *reactive maintenance* dan *proactive maintenance* (Ebeling, 1997). *Reactive maintenance* terbagi kembali menjadi dua macam yaitu *corrective maintenance* dan *breakdown maintenance*, berikut penjelasannya:

- *Corrective maintenance* merupakan jenis perawatan yang dilaksanakan ketika kegiatan proses produksi memberikan hasil produksi yang tidak mencapai target.
- *Breakdown maintenance* merupakan perawatan untuk mengatasi kejadian *unplanned downtime* atau *downtime* yang tidak terjadwal, biasanya disebabkan karena kerusakan mesin.

Kerusakan mesin yang terjadi dapat disebabkan karena faktor internal (mesin atau komponen itu sendiri) atau faktor eksternal (operator, lingkungan kerja dan sebagainya). *Reactive maintenance* bersifat darurat karena tidak ada perencanaan dari awal.

Proactive maintenance terbagi menjadi dua jenis, yaitu *predictive maintenance* dan *preventive maintenance*, berikut penjelasannya:

- *Predictive maintenance* merupakan perbaikan atau penggantian komponen yang dilakukan berdasarkan hasil estimasi waktu yang terdekat dengan

terjadinya kerusakan mesin/komponen (Ebeling, 1997). Tujuan *predictive maintenance* adalah mengurangi biaya perawatan yang tak terjadwal, yang cenderung lebih tinggi biayanya.

- *Preventive maintenance* merupakan kegiatan perawatan sederhana seperti perbaikan, penggantian komponen, penyetelan mesin, pelumasan dan kegiatan *maintenance* lainnya, dilakukan ketika jadwal *downtime* yang sudah diukur sebelumnya dengan analisa laju kegagalan mesin (Ebeling, 1997). *Preventive maintenance* biasanya dilakukan secara berkala sesuai dengan perhitungan waktu perawatan. Pengukuran waktu aktif perawatan meliputi waktu untuk mempelajari kerusakan yang terjadi dan data kerusakan yang pernah terjadi sehingga dapat memperhitungkan waktu perawatan serta durasi yang tepat. Waktu perawatan ini dapat diukur dengan menggunakan waktu pada saat melakukan aktivitas perawatan dalam frekuensi tertentu.

Tujuan yang ingin dicapai dengan melakukan *proactive maintenance* adalah mengurangi biaya kegagalan mesin/komponen yang tidak terencana dan menambah umur mesin serta komponen.

2.2 Pareto chart

Pareto *chart* merupakan distribusi frekuensi sederhana dari data yang dikelompokkan dalam kategori (Montgomery, 2009). Data frekuensi masalah yang diperoleh diurutkan dari jumlah terbesar hingga terkecil. Prinsip 20-80 dalam Pareto *chart* berarti ketika menyelesaikan 80% masalah terbesar dalam kecacatan produk maka keseluruhan masalah dapat terselesaikan. Fungsi pareto *chart* adalah menentukan fokus masalah yang ingin diperbaiki, dimana masalah tersebut yang menghasilkan masalah terbanyak. Pareto *chart* juga dapat digunakan sebagai penentu komponen kritis pada metode keandalan (*reliability*).

2.3 Keandalan (Reliability)

Keandalan merupakan probabilitas sebuah komponen atau sistem dapat memenuhi fungsi yang ditentukan dalam periode waktu tertentu dalam kondisi pengoperasian yang stabil (Ebeling, 1997). Keandalan mesin bergantung pada periode waktu penggunaan, mesin yang digunakan terus menerus maka

keandalannya akan terus menurun. Keandalan ini memiliki indikator utama dari keandalan suatu sistem yaitu fungsi probabilitas. Beberapa fungsi probabilitas antara lain:

- *Probability Density Function* ($f(t)$), merupakan fungsi yang mendeskripsikan *shape* dari distribusi kegagalan. Fungsi kepadatan probabilitas berguna untuk perhitungan fungsi laju kegagalan.
- *Cumulative Distribution Function* ($F(t)$)
- *Reliability Function* ($R(t)$), merupakan fungsi probabilitas suatu mesin atau komponen untuk tidak rusak dalam periode waktu tertentu (t).
- *Hazard Rate Function* ($\lambda(t)$), merupakan fungsi yang menunjukkan banyaknya kegagalan per satuan waktu (t).

Setiap fungsi probabilitas dapat menghitung keandalan dari suatu mesin atau komponen dari beberapa prespektif. Pengukuran keandalan lainnya yang berkaitan dengan fungsi probabilitas tersebut salah satunya adalah *Mean Time To Failure* (MTTF) dan *Mean Time To Repair* (MTTR)

2.3.1 Mean Time To Failure (MTTF)

Mean Time to Failure merupakan nilai rata-rata interval antar kerusakan dari sebuah distribusi data kerusakan. MTTF bermanfaat untuk mengetahui kinerja dan kemampuan dari peralatan yang digunakan. Perhitungan MTTF memerlukan parameter yang telah dihitung sebelumnya. Cara perhitungan setiap MTTF juga berbeda tergantung dengan parameter yang sesuai dengan distribusi data yang ada.

2.3.2 Mean Time To Repair (MTTR)

Mean Time to Repair merupakan nilai rata-rata waktu perbaikan kerusakan yang terjadi. Perhitungan MTTR memerlukan parameter yang telah dihitung sebelumnya. Cara perhitungan setiap MTTR juga berbeda tergantung dengan parameter yang sesuai dengan distribusi data yang ada.

2.4 Distribusi

Identifikasi distribusi bertujuan untuk mengetahui distribusi dari data interval antar kerusakan dari mesin atau komponen dan lama waktu perbaikan kerusakan. Mesin atau komponen memiliki distribusi kerusakan yang berbeda-beda. Distribusi yang biasa digunakan untuk menentukan pola data kerusakan adalah *lognormal*, *normal*, *weibull* dan *exponential*. Pengujian *goodnes of fit test* dilakukan dengan menggunakan *software* MINITAB 14. Penentuan dilakukan dengan melihat nilai *Anderson-Darling* dan metode *Least Squares Estimation* yang menunjukkan nilai *Pearson Correlation Coefficient*. Distribusi yang dipilih memiliki nilai *correlation coefficient* yang tertinggi, kemudian melihat nilai *Anderson-Darling* yang terkecil. Pembahasan dalam penelitian ini akan menggunakan tiga macam distribusi yaitu distribusi *normal*, *lognormal* dan *weibull*.

2.4.1 Distribusi Normal

Distribusi ini biasa disebut kurva lonceng (*bell curve*) karena grafik fungsi kepadatan probabilitasnya (*Probability Density Function*) mirip dengan bentuk lonceng. Parameter pada distribusi normal yaitu μ dan σ . Fungsi probabilitas yang ada pada distribusi *normal* antara lain:

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{1}{2} \frac{(t-\mu)^2}{\sigma^2}\right] \quad -\infty < t < \infty \quad (2.1)$$

$$F(t) = \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad (2.2)$$

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad (2.3)$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1-\Phi(t-\mu/\sigma)} \quad (2.4)$$

$$MTTF = \mu \quad (2.5)$$

Dimana :

$f(t)$: *Probability Density Function*

$F(t)$: *Cumulative Distribution Function*

$R(t)$: *Reliability Function*

$\lambda(t)$: *Hazard Rate Function*

σ : standar deviasi
 t : interval waktu
 μ : *mean*

2.4.2 Distribusi Lognormal

Distribusi *lognormal* mempunyai dua parameter yaitu s (*scale parameter*) dan t_{med} (*median* dari data waktu kerusakan) yang juga menunjukkan *median* dari data. Fungsi yang terdapat dalam distribusi *lognormal* yaitu:

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}st} \exp \left[-\frac{1}{2s^2} \left(\ln \frac{t}{t_{med}} \right)^2 \right] \quad t \geq 0 \quad (2.6)$$

$$F(t) = \Phi \left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}} \right) \quad (2.7)$$

$$R(t) = 1 - \Phi \left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}} \right) \quad (2.8)$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.9)$$

$$MTTF = t_{med} \exp(s^2/2) \quad (2.10)$$

Dimana :

$f(t)$: *Probability Density Function*

$F(t)$: *Cumulative Distribution Function*

$R(t)$: *Reliability Function*

$\lambda(t)$: *Hazard Rate Function*

s : *scale parameter* (pola)

t : interval waktu

t_{med} : *median*

2.4.3 Distribusi Weibull

Distribusi *weibull* mempunyai dua parameter yang digunakan dalam distribusi ini yaitu β (*shape parameter*) dan θ (*scale parameter*). Fungsi yang terdapat dalam distribusi *weibull* yaitu:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta} \right)^{\beta-1} \quad \theta > 0, \beta > 0, t \geq 0 \quad (2.11)$$

$$R(t) = e^{-(t/\theta)^\beta} \quad (2.12)$$

$$f(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} e^{-(t/\theta)^\beta} \quad (2.13)$$

$$MTTF = \theta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (2.14)$$

$$F(t) = 1 - \exp[-(t/\theta)^\beta] \quad (2.15)$$

Dimana :

$f(t)$: *Probability Density Function*

$F(t)$: *Cumulative Distribution Function*

$R(t)$: *Reliability Function*

$\lambda(t)$: *Hazard Rate Function*

β : *shape parameter*

t : *interval waktu*

θ : *scale parameter*

2.5 Ketersediaan (*Availability*)

Availability didefinisikan sebagai peluang sebuah komponen atau sistem dapat bekerja sesuai dengan fungsi yang dibutuhkan pada waktu tertentu yang berada pada kondisi normal (Ebeling, 1997). *Availability* juga diartikan sebagai jumlah waktu dikurangi dengan waktu yang dibutuhkan untuk melakukan perawatan dan perbaikan. Tingkat ketersediaan atau *availability* dipengaruhi oleh nilai interval penggantian dan perbaikan. Rumus yang digunakan untuk menghitung *availability* adalah sebagai berikut:

$$Availability = \frac{MTTF}{MTTF+MTTR} \quad (2.16)$$

Dimana :

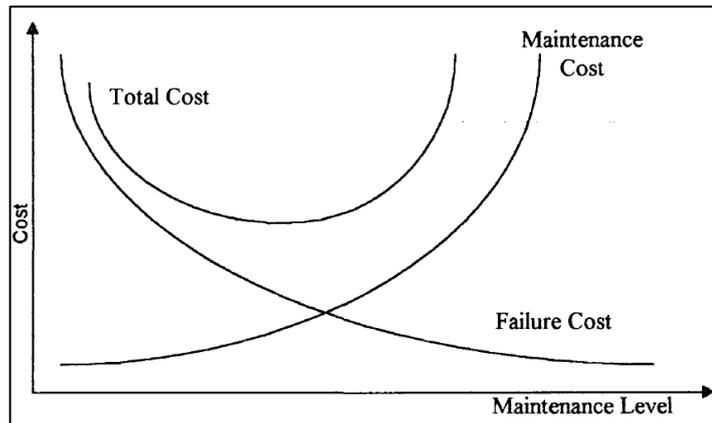
MTTF : *Mean Time To Failure*

MTTR : *Mean Time To Repair*

2.6 Biaya Perbaikan dan Penggantian

Sistem perawatan yang baik adalah perawatan yang dilakukan dalam jadwal waktu tertentu ketika proses produksi sedang tidak berjalan. Perawatan mesin yang sering dilakukan akan meningkatkan biaya perawatan, sebaliknya

apabila perawatan tidak dilakukan maka dapat mengurangi kinerja mesin tersebut. Grafik berikut ini dapat menggambarkan hubungan antara biaya perawatan dengan *maintenance level* (Lyonnet, 1991).



Gambar 2.1 Grafik Hubungan Biaya Perawatan dengan *Maintenance Level*

Maintenance level yang semakin tinggi maka *failure cost* yang akan ditanggung akan semakin kecil. *Maintenance level* yang semakin tinggi juga menyebabkan biaya perawatan yang dikeluarkan semakin besar sehingga total biaya meningkat juga. Biaya perawatan mesin pada komponen mesin terbagi menjadi dua macam yaitu biaya pencegahan (*preventive cost*) dan biaya kerusakan (*failure cost*). Kedua biaya tersebut kemudian digunakan untuk mencari *total cost minimum* (T_c). Tujuannya untuk memperoleh suatu pola *maintenance* yang optimal agar biaya *failure cost* dan *preventive cost* dapat seimbang, sehingga dapat menghasilkan *total cost minimum* atau total biaya minimum.

2.6.1 Preventive Cost (C_p)

Preventive cost merupakan biaya yang timbul karena adanya *preventive maintenance* yang sudah terjadwal. Rumus *preventive cost* adalah sebagai berikut:

$$C_p = (A + B) \times C + D \quad (2.17)$$

Dimana :

A : biaya kehilangan produksi/hari

B : biaya tenaga kerja/hari

- C : waktu perawatan preventif (MTTR Perbaikan)
 D : harga komponen.

2.6.2 *Failure Cost (C_f)*

Failure cost merupakan biaya yang timbul karena kerusakan yang terjadi karena kerusakan diluar perkiraan (*breakdown*) yang menyebabkan terhentinya waktu produksi. Rumus *failure cost* adalah sebagai berikut:

$$C_f = (A + B) \times C + D \quad (2.18)$$

Dimana :

- A : biaya kehilangan produksi/hari
 B : biaya tenaga kerja/hari
 C : waktu perawatan penggantian (MTTR Penggantian)
 D : harga komponen

2.6.3 *Total Biaya Harapan (Total Expected Replacement)*

Total expected replacement merupakan perhitungan biaya yang digunakan untuk menentukan biaya perbaikan dan penggantian yang efisien. Rumus *total expected replacement* adalah sebagai berikut:

$$Total\ Expected\ Replacement = C_p \times R(t) + C_f \times [1 - R(t)] \quad (2.19)$$

Dimana :

- C_p : *Preventive cost*
 C_f : *Failure cost*
 $R(t)$: *Reliability function*

2.6.4 *Interval Waktu Perbaikan dan Penggantian*

Penerapan *predictive maintenance* dikerjakan dengan cara menentukan jadwal perbaikan dan penggantian yang optimal untuk setiap komponen. Perbaikan dan penggantian yang optimal untuk setiap komponen berarti efektif dalam meminimalkan kerusakan pada komponen dan efisien dalam mengeluarkan

biaya pemeliharaan. Rumus perhitungan interval waktu perbaikan dan penggantian adalah sebagai berikut:

$$Expected\ Cycle\ Length = t.R(t) + \int_0^t t.f(t) dt \quad (2.20)$$

Dimana :

t : Interval waktu

$R(t)$: *Reliability function*

$f(t)$: *Probability density function*

2.6.5 Total Biaya Minimum (T_c)

Total biaya minimum perbaikan dan penggantian per satuan waktu suatu mesin digunakan rumus sebagai berikut:

$$T_c = \frac{C_p \times R(t) + C_f \times [1 - R(t)]}{T.R(t) + \int_0^T t.f(t)dt} \quad (2.21)$$

Dimana:

T_c : Total biaya minimum

C_p : *Preventive cost*

C_f : *Failure cost*

t : Interval waktu

$R(t)$: *Reliability function*

$f(t)$: *Probability density function*